

$$P = \frac{4G\epsilon_0}{1-\nu} \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n (a_n - \xi b_n) / (2n+1) \dots (7)$$

ここで、

$$\xi = \frac{a^2}{4R\epsilon_0} = \sum_{n=0}^{\infty} a_n / \sum_{n=0}^{\infty} b_n \dots (8)$$

であり、 $T_n(x)$ はTchebycheff多項式、 G, ν はそれぞれ弾性層の横弾性係数およびポアソン比である。

3. 数値結果および考察

図2に無次元化した押し付け荷重 $\bar{P} = (1-\nu)P/4Ga\epsilon_0$ とアスペクト比 h/a との関係を示す。図中の水平の線は、層の厚さが無限大、すなわち半無限弾性体の結果である。層下面が剛体基礎と滑らかに接触する場合は、 \bar{P} はポアソン比 ν には依存しない。よって、組織層の横弾性係数とポアソン比を分離して求めることは不可能である。一方、層下面と基礎が密着する場合には、層の厚さ h が増加するとともに、 \bar{P} の傾きは緩やかになり、ポアソン比の影響も顕著でなくなることがわかる。また、球状Indenterを用いた場合には、接触領域円半径 a は垂直荷重 P に依存するため、直接、図2を利用して組織層の弾性係数等を求めることはできない。図3に球状Indenterにおける $a^2/4R\epsilon_0$ と h/a との関係について示した。

図4および図5は、それぞれ円柱および球状Indenter接触面の無次元化した垂直応力 $(\bar{\sigma}_z)_{z=h} = a(1-\nu)(\sigma_z)_{z=h}/G\epsilon_0$ の半径方向分布図である。円柱状Indenterでは、Indenterの端部 ($r/a=1$)で応力は特異性を有し、層の厚さが薄いほど端部の応力場は強くなり、層の破壊を招く可能性が大きい。

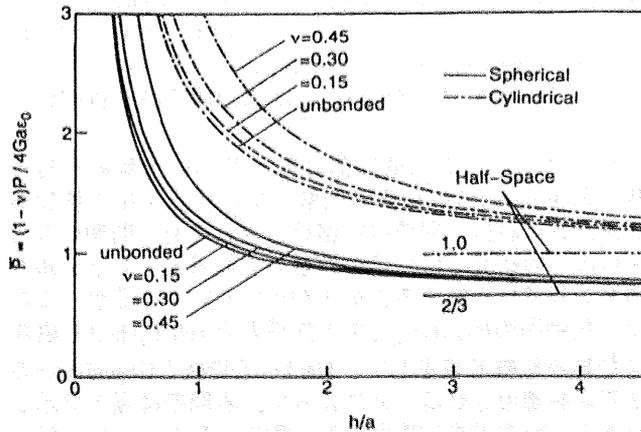


Fig. 2 Variation of the dimensionless axial load \bar{P} with the aspect ratio h/a .

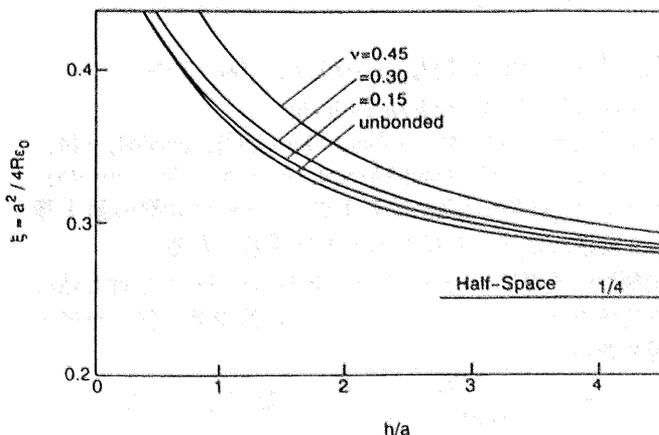


Fig. 3 Variation of the ratio ξ with the aspect ratio h/a .

また、ここには示していないが、層と基礎の界面が密着していない場合には、層の厚さが極端に薄くなると層下面が基礎から浮き上がる現象が推測された。

以上のようなことから、Indentation testにより組織層の弾性係数およびポアソン比を求める場合には、層下面と基礎が密着していなければならず、アスペクト比 h/a がおよそ $0.5 \leq h/a \leq 2$ 程度となる径のIndenterを用いるのが望ましいと考えられる。特に、円柱状Indenterで組織を押し込む際には、偏心荷重が作用しやすく、微小な偏心荷重によって層に生ずる応力場は軸荷重のみの場合とは大きく異なる⁽⁶⁾。したがって、試験片の測定部表面とIndenterのアライメント調整には細心の注意が必要と思われる。

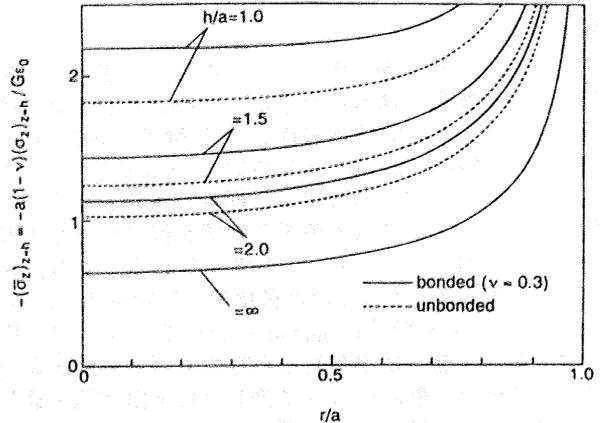


Fig. 4 Radial distribution of dimensionless normal contact stress $(\bar{\sigma}_z)_{z=h}$ of the cylindrical indenter.

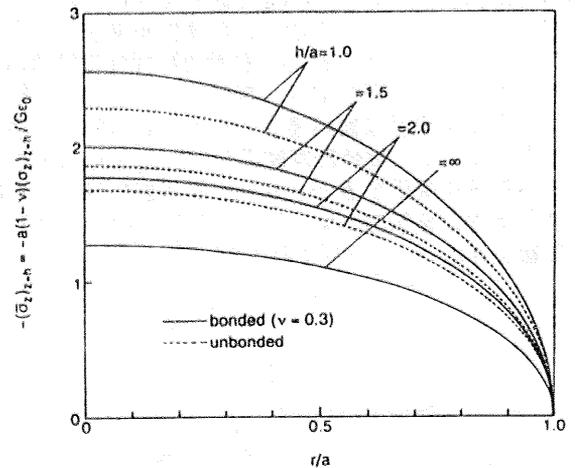


Fig. 5 Radial distribution of dimensionless normal contact stress $(\bar{\sigma}_z)_{z=h}$ of the spherical indenter.

本研究に対して有益な御助言を頂いたJohns Hopkins 大学医学部、Prof. Edmund Y. S. ChaoならびにDr. Guoan Li に謝意を表す。

文献

- (1) Jurvelin, J. et al., *J. Biomech.*, 23(1990), 1239.
- (2) 梅原・ほか5名, 日本臨床バイオメカニクス学会誌, 15(1994), 117.
- (3) Li, G., Sakamoto, M. et al., *Proc. 4th Conference of the International Society for Fracture Repair* (1994), 77.
- (4) Hayes, W. C. et al., *J. Biomech.*, 5(1972), 541.
- (5) Sakamoto, M. et al., *JSME Int. J. Ser. I*, 34(1991), 130.
- (6) 坂本・ほか3名, 機論57-544, A(1991), 3016.